

Федотов О.В., Захарова Г.Б. Структура и функции интеллектуальной обучающей системы // Вестник Томского государственного университета. Приложение №18, август 2006, материалы VI Всероссийской конференции с международным участием “Новые информационные технологии в исследовании сложных структур” (ISAM’06).

Зраенко С.М., Емельянов А.Ю.

АЛГОРИТМЫ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ПАКЕТЕ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ ENVÍ

z_sm@mail.ru

ГОУ ВПО "УГТУ-УПИ имени первого Президента России

Б.Н.Ельцина"

г. Екатеринбург

Представлен обзор методов контролируемой и неконтролируемой классификации, реализованных в пакете прикладных программ ENVÍ для обработки данных дистанционного зондирования.

The review of controllable and uncontrollable classification methods implemented in ENVÍ application software package for remote sounding data processing is presented.

Оперативная информация о земной поверхности, поступает от систем космического мониторинга, регистрирующих отраженное и собственное излучение объектов в различных спектральных диапазонах. Обработка получаемых изображений с целью классификации наблюдаемых объектов при этом выполняется обычно в ручном (оператором-дешифровщиком) или полуавтоматическом (дешифровщиком, вооруженным алгоритмами предварительной классификации) режиме. Указанные алгоритмы делятся на две группы – контролируемой классификации (с обучением или с учителем) и неконтролируемой классификации (без обучения или без учителя). В соответствие с определением, процедуры классификации с учителем используют помеченные выборки, а процедуры классификации без учителя – непомеченные [1]. В докладе представлен обзор алгоритмов контролируемой и неконтролируемой классификации, реализованных в пакете прикладных программ (ППП) ENVÍ предназначенном для обработки данных дистанционного зондирования.

Из алгоритмов классификации без обучения в программном комплексе ENVÍ реализованы алгоритмы IsoData и K-Means. Эти алгоритмы относятся к группе так называемых процедур кластеризации спектральнональных изображений, в которых используется минимальное спектральное расстояние для определения соответствующего кластера (класса) для каждого пикселя. Эти процедуры, как правило, выполняются за несколько итераций. При этом в первой итерации кластеризации спектральное пространство равномерно разбивается на области (кластеры). Далее вычисляется спектральное

расстояние между пикселем и средним значением каждого из кластеров. В результате этого пиксель относится к кластеру, расстояние до которого минимально. После итерации рассчитываются средние значения спектральных признаков по полученным кластерам (средние значения кластеров изменяются в зависимости от значений спектральных яркостей попавших в них пикселей). Затем выполняется вторая итерация, в процессе которой повторяют кластеризацию с новыми средними значениями кластеров. Такие пересчеты повторяются до тех пор, пока все пиксели с заданной вероятностью (порог сходимости) не попадут в какой-либо кластер, либо пока не будет выполнено заданное количество итераций.

Из алгоритмов классификации с обучением в программном комплексе ENVI реализованы алгоритмы, основанные на методах параллелепипедов, минимальных расстояний, Махаланобисова расстояния, максимального правдоподобия, спектрального угла, двоичного кодирования.

В методе максимального правдоподобия пиксели изображения представляются векторами, компоненты которых – значения яркости в каждом спектральном канале. Далее формируется обучающая выборка – изображение, на котором по наземным данным определены участки, отвечающие различным классам. По результатам задания границ этих классов оценивается вектор математического ожидания и корреляционная матрица для каждого из них. Далее для каждого пикселя классифицируемого изображения формируется вектор измерений спектральных яркостей, и вычисляются условные плотности вероятностей этого вектора для каждого из классов. Сравнивая данные условные плотности вероятностей с некоторым порогом, определяют, какая из гипотез наиболее правдоподобна и тем самым осуществляют классификацию пикселя. При справедливости предположения о нормальном законе распределения вектора признаков метод максимального правдоподобия обеспечивает оптимальное распознавание. Однако он требует достаточно большого количества операций и является сравнительно медленным. Иногда метод усложняют, учитывая взаимные связи с соседними пикселями, что приводит к еще большему увеличению его вычислительной сложности. При отсутствии учета этих связей он проигрывает более простым методам, которые их учитывают [2].

Упрощение метода максимального правдоподобия приводит к методу минимальных расстояний, в котором классификация осуществляется на основании сравнения расстояний между пикселями изображения и средними значениями классов в пространстве яркостей. Это расстояние вычисляется в соответствии с выражением (1):

$$d_{xyc} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\mu_{ci} - X_{xyi})^2}, \quad (1)$$

где n – количество спектральных каналов; i – номер канала; c – номер класса; X_{xyi} – значение пикселя с координатами x, y канала i ; μ_{ci} – среднее значение яркости класса (обучающей выборки) c в канале i ; d_{xyc} – спектральное расстояние между пикселем x, y и средним значением класса c .

Метод минимальных расстояний основан на евклидовой метрике и может рассматриваться безотносительно к нормальному закону распределения. Этот самый простой и быстрый метод классификации требует минимальных сведений о классах, но уступает в точности методу максимального правдоподобия и методам, учитывающим окружение пикселя.

Метод параллелепипедов – еще один из методов классификации, связанный с нормальным законом. В нем используются сведения о классах в виде векторов средних значений яркости и векторов дисперсий, полученных в процессе обучения. Далее используется тот факт, что для нормально распределенной случайной величины 95,4% ее значений лежат в пределах отклонений от среднего меньших 2σ . В соответствие с этим, по результатам обучения строятся k параллелепипедов (по количеству классов) в n -мерном пространстве признаков с центрами, определяемыми математическими ожиданиями признаков и с размерами $\pm 2\sigma$ по каждому из них (отклонения определяются визуально по графикам спектральных признаков). Если на этапе классификации компоненты вектора яркости пикселя попадают в один из параллелепипедов, то принимается решение о принадлежности этого пикселя к классу данного параллелепипеда. Если значения яркости пикселя не попали ни в один из параллелепипедов, его относят к неклассифицированным объектам. Понятно, что параллелепипеды могут перекрываться, приводя к неопределенности в процедуре классификации. Данный метод является быстрым, но недостаточно точным. Он эффективен при нормальном законе распределения вектора признаков и больше подходит для предварительной классификации.

В алгоритме, использующем Махаланобисово расстояние в отличие от Евклидова, вычисляется расстояние Махаланобиса в соответствии с выражением (2):

$$D = (X - M_c)^T C^{-1} (X - M_c). \quad (2)$$

Здесь D – расстояние Махаланобиса; c – класс; X – вектор спектральных координат классифицируемого пикселя; M_c – вектор средних значений класса c ; C^{-1} – обратная ковариационная матрица совокупности признаков; T – оператор транспонирования.

Для каждого пикселя затем вычисляется его расстояние Махаланобиса до центроида каждого класса. Пиксель относят к классу, расстояние Махаланобиса до которого минимально. Следует отметить, что этот метод используется при коррелированных данных, когда использование расстояния Евклида является неправомерным, поскольку оси пространства признаков становятся не ортогональными.

Классификация методом спектрального угла также используется для сравнения спектральных характеристик изображения со спектральными характеристиками эталонов. Алгоритм определяет близость между этими двумя характеристиками, вычисляя спектральный угол между ними. Для

этого они представляются в виде векторов в n -мерном пространстве, где n – число спектральных каналов.

Так как метод спектрального угла использует только направление векторов, то он не чувствителен к абсолютной яркости пикселей, поскольку именно длина вектора определяет меру их яркости. Все возможные яркости при этом обрабатываются одинаково, поскольку пиксели, обладающие более низкой яркостью, просто расположены ближе к началу координат диаграммы рассеяния. Цвет же пикселей, соответствующий их классу в n -мерном пространстве признаков определяется направлением их радиус-векторов.

Для вычисления спектрального угла используется следующая формула:

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\vec{t} \cdot \vec{x}}{\|\vec{t}\| \cdot \|\vec{x}\|} \right), \quad (3)$$

где α – спектральный угол между векторами x и t ; t – неизвестный спектр; x – эталонный спектр. Выражение (3) также может быть представлено в виде:

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^{nb} t_i \cdot x_i}{\left(\sum_{i=1}^{nb} t_i^2 \right)^{1/2} \left(\sum_{i=1}^{nb} x_i^2 \right)^{1/2}} \right), \quad (4)$$

где nb соответствует количеству спектральных каналов изображения.

При классификации методом двоичного кодирования осуществляется кодирование значений пикселей в нули и единицы в зависимости от положения их спектральной характеристики относительно среднего значения спектра. Исключающая функция ИЛИ используется для сравнения каждого кодированного эталонного спектра со значениями кодированных спектров обрабатываемых данных. При этом классифицируемый пиксель относится к тому эталонному классу, с которым произошло наибольшее количество совпадений в различных спектральных каналах.

Как отмечается в литературе наибольшая эффективность от применения алгоритмов контролируемой и неконтролируемой классификации достигается при их комбинировании. При этом на первом этапе должна выполняться неконтролируемая классификация (кластеризация).

Дальнейшим развитием данной работы планируется осуществление сравнения алгоритмов, реализованных в пакете программ ENVI в рамках его освоения студентами Радиотехнического института - РТФ Уральского государственного технического университета - УПИ при прохождении лабораторного практикума по дисциплине специализации «Принципы построения и обработка информации в радиоэлектронных системах дистанционного мониторинга».